

KETERSEDIAAN DAN KEBUTUHAN PERANGKAT UKUR NANO DI INSTITUSI PUSAT PENELITIAN ILMU PENGETAHUAN DAN TEKNOLOGI (PUSPIPTEK)

AVAILABILITY AND NECESSITY OF NANO MEASURING DEVICES AT RESEARCH CENTER FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY (PUSPIPTEK)

Rizki Febrian, Asep Ridwan Nugraha, dan Jimmy Pusaka

Pusat Penelitian Metrologi LIPI, Kompleks Puspiptek Gedung 420, Setu, Tangerang Selatan 15314
rizki.febrian@lipi.go.id

ABSTRAK

Secara luas, terminologi nanoteknologi berarti bidang sains dan rekayasa material di dalam rentang ukur nanometer (10^{-9} meter). Di dalam rentang ukur tersebut bisa diamati properti dari material yang selama ini tidak diketahui dalam rentang mikrometer–nanometer (μm – nm). Oleh karena itu, perangkat-perangkat ukur yang akurat pun dibutuhkan. Survei dilakukan melalui kuesioner tentang perangkat ukur pada institusi yang ada di kawasan Puspiptek dan lembaga metrologi nasional di negara lain sebagai informasi pembandingan. Perangkat ukur dengan jumlah penggunaan yang tinggi di Puspiptek adalah *scanning electron microscopy* (SEM) sebesar 39,24%, *X-ray diffraction* (XRD) sebesar 14,75%, dan *transmission electron microscopy* (TEM) sebesar 14,12%. Digunakan pada kegiatan rekayasa presisi, elektronik, optik, dan ilmu bahan, perangkat ukur ini memiliki standar acuan berupa *reference material* berdasarkan cara kerja perangkat ukur tersebut.

Kata Kunci: nanoteknologi, SEM, TEM, AFM, XRD, standar acuan, produk nano

ABSTRACT

In general, the term of nanotechnology refers to the science and engineering of materials at nanometer (10^{-9}) scale. This research can investigate material properties at this scale which were previously unknown previously at micro scale. Therefore, it is necessary to have accurate nano measuring device. Survey was conducted by response of questionnaire for devices which subjected to institution in Puspiptek, and national metrology institute from other nation as comparative information. Most of used nano measuring devices are scanning electron microscopy (SEM) by 39.24%, X-ray diffraction (XRD) 14.75%, transmission electron microscopy (TEM) 14.12% at Puspiptek. They are used under the scope of precision, electronics optics, and material application, which have reference standard based on their working methods.

Keywords: nanotechnology, SEM, TEM, AFM, XRD, reference standard, nano product

1. PENDAHULUAN

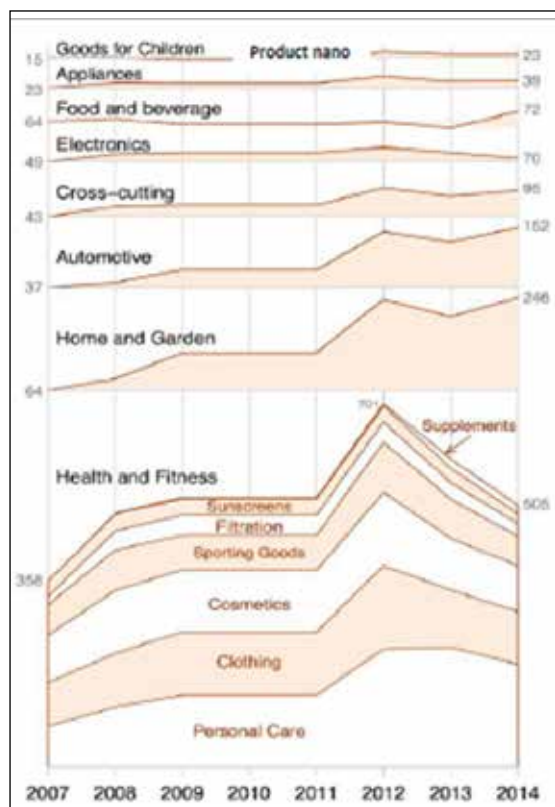
Perangkat ukur yang mampu mengukur sampai skala nanometer (10^{-9} m) secara intensif digunakan dan dikembangkan sejak adanya studi terhadap berbagai material nano atau yang lebih dikenal dengan istilah nanoteknologi. Konsep mengenai nanoteknologi diperkenalkan oleh Richard Feynman, pemenang Nobel Fisika 1960 asal Institut Teknologi California. Dia mengatakan, “*there is a plenty of room at the bottom.*” Artinya, ada fenomena baru dari sebuah material apabila material tersebut diteliti dan direkayasa dalam skala yang sangat kecil. Namun, istilah nanoteknologi baru diperkenalkan pada 1970 oleh Norio Taniguchi dari Universitas Tokyo. Sampai saat ini, penelitian

di bidang nanoteknologi terus berlangsung seiring dengan semakin kompleksnya peran interdisiplin ilmu yang terlibat di dalamnya. Sebagai contoh, fenomena material nano bisa ditelusuri dari keilmuan sains dasar, seperti fisika, kimia, dan biologi. Selanjutnya, material tersebut dirakit untuk digunakan sebagai produk obat-obatan, kesehatan, elektronik, sensor, otomotif, peralatan rumah tangga, dan sebagainya. Secara umum, tujuannya adalah untuk proses miniaturisasi, peningkatan performa, dan efisiensi suatu produk.

Saat ini, standar rentang ukur untuk material yang dikatakan berukuran nano idealnya pada 1–100 nm, dengan menggunakan perangkat ukur yang mampu mengarakterisasi material

dalam bentuk dua dimensi dan tiga dimensi.^[1] Perangkat ukur yang umum digunakan saat ini, di antaranya adalah *X-ray diffraction* (XRD), *scanning electron microscopy* (SEM), *transmission electron microscopy* (TEM), *Atomic force microscopy* (AFM), dan *particle size analyzer* (PSA). Teknik pengukuran dengan alat-alat tersebut tidak hanya memberikan informasi dimensional dari material, tetapi juga parameter lain, seperti komposisi, konsentrasi, properti mekanik, elektrik serta optik. Seiring dengan meningkatnya metode sintesis atau fabrikasi material berukuran nano, perangkat ukur yang akurat, presisi, dan tertelusur ke standar Internasional pun diperlukan.

Untuk penelitian berkelanjutan berbasis produk atau paten, kebutuhan akan perangkat ukur tersebut sangat signifikan karena adanya tuntutan komersial. Hal ini berbeda dengan penelitian yang terbatas pada basis konseptual. Gambar 1 merupakan data yang diperoleh dari Woodrow Wilson International Center untuk produk nano. Gambar tersebut menunjukkan *trendline* produk nanoteknologi dari tahun 2007–2014. Artinya, setiap tahun selalu ada produk hasil nanoteknologi walaupun dengan



Gambar 1. Consumer Products Inventory^[2]

jumlah produk nano yang meningkat atau menurun dari tahun-tahun sebelumnya.

Untuk klasifikasi produk-produk pada gambar di atas, seperti elektronik, otomotif, dan kesehatan, negara asal produk dan paten nano yang paling tinggi, di antaranya Amerika, China, dan Jepang.^[2] Sokongan dari industri- lembaga riset-universitas di negara tersebut menjadi poros kemajuan nanoteknologi. Untuk kondisi di Indonesia, walaupun produk nano sudah mulai diproduksi (seperti keramik, cat, pasta gigi, dan obat herbal), pertalian antara kebutuhan pengukuran produk nano tersebut dan ketersediaan sarana pengukuran bagi objek material berskala nano masih belum tampak jelas. Tulisan ini memaparkan apa saja perangkat ukur yang sudah dimanfaatkan beserta sasaran dan tujuannya berdasarkan survei ke sejumlah laboratorium pengelola sarana pengukuran bagi objek material berskala nano. Survei dibatasi hanya pada kelompok laboratorium yang berlokasi di Kompleks Puspiptek, Tangerang Selatan, dengan pertimbangan di lokasi ini cukup banyak ragam sarana pengukuran yang dimaksud. Kemudian, untuk mendapatkan informasi secara luas dan membandingkan kondisi di dalam dan luar negeri, survei juga dilakukan ke lembaga metrologi nasional di luar negeri.

2. STUDI LITERATUR

Berikut klasifikasi properti dari objek material berskala nano yang diteliti, yaitu 1) fisika: gaya (tarik/tolak), daya (energi), dan dimensi (struktur); 2) kimia: komposisi dan konsentrasi, porositas, dan bentuk permukaan; 3) mekanik: elastisitas, kekuatan, dan friksi adesi; serta 4) elektronik dan optik: resistansi dan konduktansi, dielektrik, indeks refraksi, dan emisivitas.^[1] Hingga saat ini, perangkat ukur material nano dibedakan atas tiga cara sebagai berikut.

- 1) *Probe system*: *atomic force microscopy* (AFM), *magnetic force microscopy* (MFM), dan *scanning tunneling microscopy* (STM). AFM menggunakan *cantilever* (tip) untuk mendeteksi material nano, kemudian pergerakan *cantilever* dicitrakan oleh laser dan *photo detector* dalam bentuk *image*. Sementara itu, STM menggunakan tegangan rendah (*low level voltage*) pada

cantilever (tip) sehingga menghasilkan arus (elektron yang bergerak dari material nano), kemudian dicitrakan dalam bentuk *image* (gambar) dan tomografi berwarna.

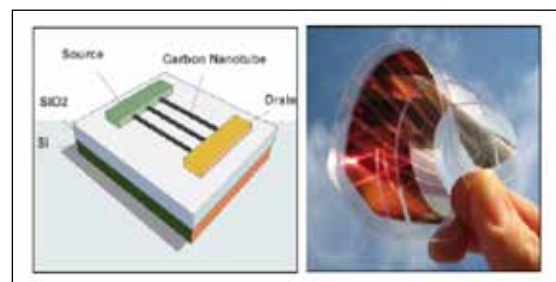
- 2) *Diffraction scattering: X-ray diffraction* (XRD) dan *single cristal x-ray diffraction* (SCXRD). Perangkat ini memanfaatkan tegangan tinggi untuk menggerakkan elektron dari katoda ke anoda, elektron kemudian mengalami tumbukan yang menghasilkan sinar X, sinar X selanjutnya dihamburkan (difraksi) oleh material berskala nano yang diuji. Data hamburan (difraksi) ini digunakan untuk melihat struktur dan susunan kristal.
- 3) *Electron imaging: scanning electron microscopy* (SEM), *transmission electron microscopy* (TEM), dan *high resolution TEM* (HRTEM). Perangkat ini menggunakan tegangan tinggi pada *electron gun* untuk menghasilkan tumbukan elektron pada sampel. Kemudian, dicitrakan menggunakan lensa elektromagnetik.

Selain melihat morfologi material, cara ini juga bisa menentukan komposisi material nano. Perangkat ukur yang digunakan harus akurat, presisi, dan tertelusur agar data-data dari material nano bisa dianalisis dan dikarakterisasi dengan tepat sehingga material tersebut bisa difabrikasi dalam bentuk produk. Fabrikasi bisa dilakukan dengan menggunakan sistem instrumentasi, seperti litografi dan *self-assembly* (sintesis senyawa atau molekul). Berdasarkan *consumer product inventory* (CPI), banyak produk nanoteknologi yang digunakan pada perangkat elektronik. Properti elektronik yang saat ini dikembangkan adalah sifat semikonduktor dari material. Variasi penambahan *doping* dan variasi ukuran nano dari bentuk morfologi menyebabkan material tersebut memiliki karakter yang berbeda.

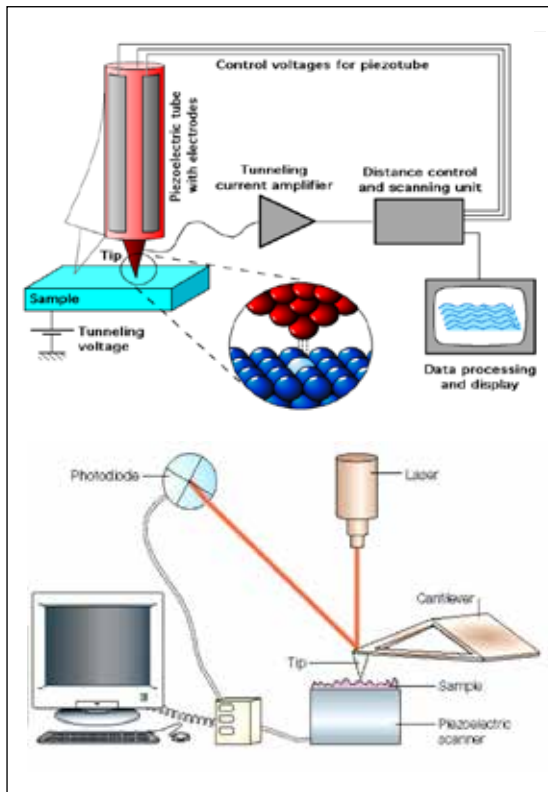
Standar material yang digunakan oleh *Institute of Electrical and Electronic Engineering* (IEEE) adalah *carbon nanotube* (CNT), dengan menggunakan perangkat ukur *scanning tunneling microscopy* (STM) dan *atomic force microscopy* (AFM).^[3] Selain mampu menampilkan *sample imaging*, STM juga digunakan untuk mengetahui sifat semikonduktor dari

material nano (contoh: *silicon*, CNT) dengan melakukan *tunneling low level voltage*. *Carbon nanotube* merupakan *non-silicon* semikonduktor yang nantinya bisa berfungsi sebagai transistor, *diode*, laser, dan sensor/detektor. Hal yang menjadi nilai tambah dari *carbon nanotube* sebagai semikonduktor adalah fabrikasi menggunakan proses elektrostatik eksternal dengan rentang kecil dari 10 nm, sedangkan *silicon* sampai sekarang masih menggunakan proses potolitografi konvensional dengan rentang dimensi 10 nm hingga 30 nm.^[3] Properti optik yang dikembangkan saat ini berada pada sifat *photovoltaic solar cells*,^[4] begitu juga dengan *light emitting diode* (LED).

Material yang digunakan adalah molekul organik berupa polimer agar produk yang dipakai lebih tipis, ringan, dan lentur dengan konsumsi daya rendah. Untuk *photovoltaic solar cell*, material organik yang direkayasa bisa menghasilkan arus pada difusi cahaya rendah.^[4] Perangkat ukur yang digunakan adalah STM dan AFM. Pada *organic light emitting diode*, konduktansi dari polimer bisa diukur dengan STM. Pada produk tekstil, hasil yang diinginkan dari pemanfaatan material nano adalah pakaian dengan tampilan warna optimal, antibakteri, andal (*reliable*), dan nyaman (*satisfying weight*). Contohnya adalah proses *coating* SiO₂ nanopartikel pada katun dan polyester sebagai material *hydrophobic* dan *water repellence*. Perangkat ukur yang digunakan saat ini adalah SEM untuk melihat ikatan antara SiO₂ dengan polyester atau katun karena klasifikasi perbesaran dan resolusi SEM yang digunakan hanya pada skala nano mendekati mikro.^[5] Dalam dunia kesehatan mutakhir, material nano digunakan pada sistem *drug delivery* untuk mengatasi penyakit seperti kanker.

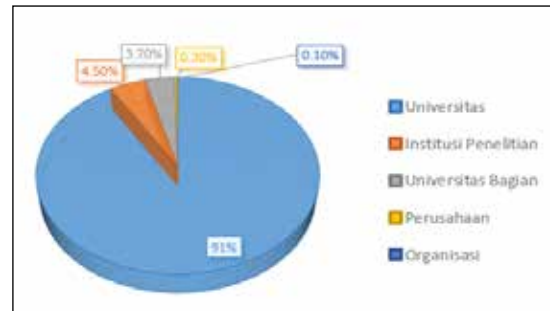


Gambar 2. Kiri: Produk Nano Teknologi berupa *Carbon Nanotube* (CNT)^[6], Kanan: *Organic Photovoltaic Cell*^[7]



Gambar 3. Atas: Skema *Scanning Tunneling Microscopy* (STM),^[8] Bawah: Skema *Atomic Force Microscopy* (AFM)^[9]

Berdasarkan gambaran di atas, dapat dilihat peran dari perangkat ukur berskala nano pada beberapa tema penelitian berbasis produk dan paten dari sekian banyak tema lainnya. Rekayasa penggunaan *low level voltage* pada STM membuat tantangan baru pada perangkat ukur nano yang tidak hanya menunjukkan informasi komposisi dan dimensi dari material nano. Gambar 3 adalah skema pengukuran menggunakan STM & AFM beserta produk nano berupa *organic PV & CNT*. Gambar 4 menampilkan data yang diperoleh pada lembaga statistik untuk publikasi nano di seluruh dunia, dilihat kontribusi universitas, lembaga penelitian, dan perusahaan.



Gambar 4. Diagram Publikasi di Bidang Nano^[10]

Dapat dipastikan bahwa universitas memiliki kebutuhan terhadap alat ukur skala nano lebih tinggi daripada lembaga lain. Hal ini dipengaruhi oleh penelitian yang dilakukan oleh mahasiswa, baik itu strata 1, 2, 3, dan juga dosen yang jumlahnya terus meningkat.

3. HASIL SURVEI DAN DISKUSI

Untuk melihat pemanfaatan perangkat ukur nano, sasaran, dan tujuan penelitian, baik di Indonesia maupun di *national metrology institute* (NMI) lain, anggota kelompok peneliti nanometrologi melakukan survei pada tahun 2015 dengan memberikan kuesioner kepada satu orang responden lembaga/instansi yang berada di lingkungan Puspiptek dan NMI di negara lain yang berada di dalam wilayah regional Asia Pasifik, lebih khususnya NMI yang sering bekerja sama dalam penelitian dan pengembangan metrologi dengan Pusat Penelitian Metrologi LIPI. Sementara itu, *Laboratoire National de metrologie d'Essais* (LNE) Prancis merupakan mitra Pusat Penelitian Metrologi LIPI dalam kegiatan *trade support program (TSP)* yang diselenggarakan oleh Kementerian Perdagangan Indonesia. Institusi yang terlibat dalam survei ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Institusi yang Terlibat

Laboratorium di Puspiptek	Lembaga Metrologi Nasional Luar Negeri
Pusat Penelitian Fisika LIPI	<i>National Metrology Institute of Japan</i> (NMIJ)
Pusat Penelitian Kimia LIPI	<i>National Institute Metrology of Thailand</i> (NIMT)
Pusat Penelitian Metalurgi LIPI	<i>Korean Research Institute of Standards and Sciences</i> (KRISS)
Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju Batan	<i>Standard and Calibration Laboratories Hongkong</i> (SCL)
FMIPA UGM	<i>Laboratoire National de Metrologie et d'Essais France</i> (LNE)



Gambar 5. Frekuensi Penggunaan Alat Ukur Nano di Puspiptek

Untuk wilayah Puspiptek, komunikasi dilakukan secara langsung, sedangkan komunikasi dengan NMI di negara lain dilakukan dengan surat elektronik. Frekuensi penggunaan alat ukur nano pada institusi-institusi tersebut ada pada Gambar 5 dan Gambar 6.

Berdasarkan hasil survei, diperoleh poin-poin utama, yaitu perangkat ukur skala nano yang tersedia, intensitas pemakaian, parameter sampel material nano yang diukur dan bidang aplikasi produknya serta standar referensi material yang digunakan. Perangkat ukur yang intensitas pemakaiannya paling tinggi di Puspiptek adalah SEM sebesar 39,24%, diikuti oleh PXRD sebesar 14,75%, dan TEM sebesar 14,12%. SEM digunakan untuk melihat porositas, morfologi (contoh: *nanowire*, *nanorod*, dan *nanoflower*), dan komposisi material nano (contoh: *doped nanomaterial* dan *nanocomposit*). TEM digunakan untuk melihat distribusi, keseragaman (*uniformity*) partikel nano dan susunan morfologi. Bila dibandingkan SEM, TEM memiliki rentang ukur yang lebih kecil dari 1 nm. PXRD dipakai pada karakterisasi struktur kristalografi dari material nano, terutama untuk material anorganik (contoh: logam oksida, dan keramik).

Perangkat ukur ini di antaranya digunakan untuk bidang kegiatan rekayasa presisi, elektronik, optik, dan biologi. Standar (material referensi) yang menjadi acuan di Puslit Fisika berdasarkan ICDD adalah *cobalt standard 9050-759* dan SiO_2 *diffractogram*. Standar ini digunakan untuk menguji keandalan dari perangkat ukur yang ada. Contohnya jika SiO_2 *diffractogram standard* diukur, parameter latis (*hkl*) dan sudut difraksi (2θ) bisa diperoleh



Gambar 6. Frekuensi Penggunaan Alat Ukur Skala Nano di Lembaga Metrologi Nasional Luar Negeri

beserta nilai ketidakpastiannya. Parameter latis akan tetap apabila sudut difraksi tidak berubah akibat adanya *peak broadening*. Perangkat ukur yang intensitas pemakaiannya tinggi di NMI lain adalah SEM 32,77%, PXRD 25,63%, dan AFM 17,64%.

Hal ini menunjukkan bahwa masih terdapat kesamaan antara kebutuhan pemakaian SEM dan PXRD sebagai perangkat ukur material nano di NMI lain dengan di kawasan Puspiptek. Hal yang membedakannya adalah penggunaan AFM pada tiap-tiap NMI. AFM digunakan sebagai perangkat ukur yang lebih *powerful* dibandingkan dengan SEM dan TEM. Dengan sistem dan metode pengukuran yang menggunakan *cantilever*, material nano bisa direpresentasikan dalam bentuk tiga dimensi.

Kegiatan pengukuran dilakukan untuk bidang rekayasa presisi, elektronik, optik, dan ilmu bahan. Standar acuan yang dipelihara pada AFM adalah panjang gelombang laser pendeteksi perubahan posisi *cantilever* menggunakan multiaxis interferometer. Standar acuan yang digunakan berasal dari *National Institute of Standard and Technology (NIST)* Amerika. Hal ini berbeda dengan SEM dan PXRD yang menggunakan standar referensi material ukur sebagai penguji keandalannya. Sistem operasional perangkat ukur skala nano ini dilakukan oleh tenaga yang sudah dilatih dan berdasarkan instruksi kerja yang ada.

4. KESIMPULAN

Jenis perangkat ukur nano yang digunakan di laboratorium-laboratorium Puspiptek dan yang digunakan di NMI negara lain tidak berbeda jauh. Perangkat ukur yang frekuensi

penggunaannya paling tinggi untuk dua wilayah survei ini adalah jenis *electron imaging* (SEM). Perbedaannya ada pada penggunaan perangkat ukur jenis sistem *probe system* (AFM) di NMI lain dengan frekuensi penggunaan tertinggi kedua setelah SEM. Hal ini menunjukkan bahwa sudah ada peningkatan kebutuhan terhadap penggunaan jenis AFM, selain SEM atau TEM. Sementara itu, perangkat ukur hamburan sinar-X (PXRD & SCXRD) juga memiliki frekuensi yang tinggi di bawah SEM dan TEM. Data ini memberikan gambaran bahwa dua wilayah survei ini memiliki kegiatan pengukuran material nano yang beririsan sebagaimana fungsi dan jenis perangkat ukur tersebut. Standar acuan (material referensi) yang digunakan pada dua wilayah ini cukup bervariasi, sesuai dengan lembaga yang menyediakan standar tersebut dan juga metode kalibrasinya. Namun, saat ini belum ada data mengenai ketertelusuran dari standar acuan yang digunakan.

Pada penelitian selanjutnya, perlu diperluas lagi cakupan wilayah penggunaan perangkat ukur nano di Indonesia beserta bidang kegiatannya, baik itu di lembaga penelitian, universitas, maupun perusahaan. Dari sana bisa dilihat posisi pemetaan kebutuhan perangkat ukur nano di terhadap produk nanoteknologi di Indonesia.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada ketua dan seluruh tim kelompok peneliti nanometrologi dengan segala kontribusi, sokongan, dan kerja samanya ketika diskusi-diskusi rapat rutin bulanan dan juga dalam penulisan makalah ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ratner, B. Mark, dan Daniel Ratner. 2003. "Nanotechnology: A Gentle Introduction to the Next Big Idea". *Materials Today* (Vol 6). New Jersey: Prentice Hall Professional
- [2] 2015. Statnano report. USA.
- [3] Meyyappa, Meyya. 2007. *Nanotechnology Measurement Handbook: A Guide to Electrical Measurement for Nanoscience Applications*. Ohio: Keithley Instrument.
- [4] Bououdina, Mohamed, dan J. Paulo Davim. 2014. *Handbook of Research on Nanoscience, Nanotechnology, and Advanced Materials*. Harshey: IGI Global. Yetisen, Ali K., Hang Qu, Amir Manbachi, Haider Butt, Mehmet R. Dokmeci, ... dan Seok Hyun Yun. 2016. *Nanotechnology in Textiles*. American Chemical Society (ACS) Nano 10(3): 3042–3068.
- [5] Halterman, Todd. 2014. "Solar Power, Organic Photovoltaics, and 3D Printing". Diakses pada 20 April 2016. <http://www.3dprinterworld.com/article/solar-power-organic-photovoltaics-and-3d-printing>.
- [6] Nanointegris. "Field Effect Transistors". Diakses pada 20 April 2016. <http://www.nanointegris.com/en/transistor>.
- [7] Department Microbiology University Massachusetts. 2012. "Microbial Nanowires". Diakses pada 20 April 2016. <http://www.geobacter.org/Nanowires>.
- [8] American Physical Society. "Seeing Atoms". Diakses pada 20 April 2016. <http://www.physicscentral.com/explore/action/atom.cfm>.
- [9] Statnano. "Type of Organization". Diakses pada 6 April 2016. <http://statnano.com/org>.